

## 電気接点アークの分光学的解析と気中遮断器の高性能化に関する研究

著者	青山 洋一
号	1168
発行年	1990
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/9975">http://hdl.handle.net/10097/9975</a>

氏 名	青 山 洋 一
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成 2 年 12 月 12 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 44 年 3 月 静岡大学大学院工学研究科機械工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	電気接点アークの分光学的解析と気中遮断器の 高性能化に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 高木 相    東北大学教授 佐藤 徳芳 東北大学教授 水野 皓司

## 論 文 内 容 要 旨

気中遮断器の責務は短絡電流から、電線や負荷機器の損傷を防ぐことであるが、近年の電気設備の大型化、あるいは省エネルギーのための昇圧活動等により、短絡電流は、益々増大しており、一方で保護すべき負荷は、エレクトロニクスの進歩や省人自動化の要請、都市集中・過密等の種々の要因により、益々、複雑化、小型化がはかられている。短絡大電流を高速短時間に遮断することを限流遮断といい、すぐれた限流遮断性能をもつ気中遮断器を開発できれば、益々複雑高度化する電気分野において工業的貢献は少なくない。

接点开離直後のアークは、接点に膠着する性質があるため、この膠着時間を短縮しなければ、すぐれた限流遮断性能をもつ遮断器が開発できないため、アーク膠着現象の解明が強く望まれていた。しかし従来のアーク膠着現象に関する研究は、接点の開離速度、アークの駆動磁場、接点材料あるいは形状等、設計上の要素とアーク膠着時間の関係を論じた実用研究が主体で、何故そのようなのかという、より源流系のアーク物性からアーク膠着現象を研究した例は殆ど見られなかった。

本論文は、従来の研究では充分検討されていなかったアーク膠着時のアーク物性を、アーク分光分析による実験的観測と理論的考察によって解析し、アーク膠着時間の短縮をはかり、気中遮断器の高性能化に寄与することを目的に研究した結果を記述したものである。

そして、結論的には、

(1) 膠着アークを分光分析することで、そのアーク物性を解析し、ブリッジはより高温に細く絞られており、電子密度が大きくなって磁気駆動され易くなっていることを定量的に明らかにし、

(2) 積極的にアーク径を絞るべく高速開離、磁気駆動のメカニズムに加えて、アークの熱で水素ガスを発生する材料を消弧室に用いて、水素の冷却作用の活用によって、気中遮断器の高性能化を実現した。

本論文は以下の7章で構成されている。

## 第1章 序 論

本研究の背景と、有接点電気開閉機器の分類と課題、その中における気中遮断器の位置付けを述べ、研究の目的を明らかにした。

## 第2章 電気接点のアーク現象に関する従来の研究

本章においては、電気接点のアーク現象に関する従来の研究についてまとめ、アーク膠着現象が、その前駆現象であるブリッジ現象と相関があるという着眼と仮説に基づいて、2つの現象に関する従来の研究を対比し考察を加えた。

## 第3章 アーク膠着現象に影響する要因の分析

本章では、従来より研究され報告されているアーク膠着時間に関する実験の結果を参考に著者も同様の実験をトレースして、従来の研究の結果をギャランティした。また、アーク膠着現象は、接点开離時のブリッジの蒸発によるメタリック相アークと相関があるのではないかと、従って、接点を高速開離した場合や、接点にブリッジの蒸発量が少なく高融点材料を用いた場合に、アークが相対的にガス相アークとなり、膠着時間が短くなるのではないかとという著者の仮説に基づき、接点开離速度を5 m/sに至る高速まで高度の直線性で可変でき、アークを磁気駆動するための印加磁場も従来の研究では不十分であったので、0.4Wb/m<sup>2</sup>まで印加できるアーク走行試験機を用い、接点材料に、高融点材料であるWを加えAg及びその合金との対比でアーク膠着時間を調べた。

## 第4章 アーク膠着現象の分光分析

本章では、光電式ストリークカメラとOSA (Optical Spectrum Analyzer) とから構成された独自開発の分光分析システムを用いて、接点に膠着するアークのスペクトルをその接点の開離直後から、アークが脱膠着し消弧装置へ走行するまで計測し、

1. 銀接点の場合、接点の開離速度が比較的遅く膠着時間が長い条件では、開離直後は銀の発光が優勢であるが、次第に窒素の発光が増加し、しかるのちに走行する。また、開離速度が速く、膠着時間が短い条件では、開離直後から窒素の強い発光が見られる。
2. タングステン接点の場合、銀接点に比べて膠着時間は短く、開離直後から窒素の強い発光が見られる。

ことを初めて、明らかにした。

また、ストリークカメラをシャッターモードに切替え膠着アークの半径方向のスペクトルの強度分布を計測して、温度分布や粒子組成の解析を行った。そして、これらの解析により、低速開離時

のアーキは、接点ブリッジ蒸発によるメタリック相主体のアーキであり、高速開離時のアーキは、ガス相主体のアーキであること、膠着アーキの温度はアーキの発生直後より時間経過とともに上昇し、脱膠着直前には、アーキはより高温に、より細く絞られており、電子密度が大きくなって磁気駆動され易くなっていることを定量的に明らかにし、アーキ膠着現象のメカニズムの一端を明らかにすることができた。従来の研究においては、アーキ膠着現象の評価パラメータは膠着時間だけであったことと比べると、膠着アーキのアーキ物性を明らかにしたことは、学問的にも極めて意義深いものと思われる。

## 第5章 高速度カメラ2色撮影による膠着アーキ形状の分析

本章では、2枚のバンドパスフィルタを用いた前置光学系と高速度ビデオカメラからなる独自の2色撮影システムを開発して膠着アーキ形状の経時変化を、接点材料であるAgの発光と大気成分であるNの発光を対比させて撮影し、膠着アーキの2色撮影の画像を得た。これらの画像は、例えば低速開離時の膠着アーキにおいては、次第にNの発光が強くなってからアーキが走行することを視覚的に示しており、前章の分光分析システムで得られた結果と一致していることが検証された。2つの分光分析の手法を独自に開発し、この検証を得たことにより、本計測の結果に高い信頼性が得られた。また、これらの分光分析システムはリアルタイムの計測が可能で、アーキ膠着現象の計測のみならず、電気接点の消耗や、遮断アーキの研究等、広く電気接点のアーキ現象の解明に極めて有効な手段となることも明らかとなった。

以上の研究により膠着アーキは時間経過とともに、アーキ柱の中心部の温度が上昇し、電子密度が高くなって、弧心に電流集中が起こって、磁気駆動がされ易くなり、脱膠着していることが明らかになり、何らかの手段でアーキ柱の外側を冷却し、更に電流集中させることができれば、膠着時間が短くできるかもしれないこと、そして、その手段として、気中遮断器の接点部近傍の器壁有機材料のアーキ熱による熱分解水素ガスの冷却効果を活用できないかという仮説が得られた。

## 第6章 熱分解水素ガスの冷却効果と気中遮断器への適用

本章では、現存するプラスチック絶縁材料の中では、もっとも熱分解水素ガス量が多い材料の1つであるポリメチルペンテンを、アーキ走行試験機の接点部近傍の側壁に配して、前記する分光学的計測と解析を行った結果を述べた。そして、膠着アーキ柱の中に、水素のH $\beta$ 線の発光が見られ、アーキ柱の弧芯において、温度が上昇し電子密度が増大して、膠着時間が短くなることが確認できた。そして、これらの結果を適用して、消弧装置に耐熱性と絶縁性にすぐれ、同様の熱分解水素ガスの冷却効果をもつメラミン樹脂を用い、アーキ膠着時間が短く、限流遮断性能のすぐれた気中遮断器の工業化を実現できた。

## 第7章 結 論

本章では全体のまとめ、学問的成果についてふれ、今後の残された課題に言及した。

## 審 査 結 果 の 要 旨

遮断器は異常電流による事故の拡大を未然に防止して安全を確保するための重要な装置である。家庭用などの比較的小電流用遮断器は、電気接点を封止せず空気中で使用する気中遮断器が用いられているが、その高速遮断特性と小形化は常に求められている研究課題である。著者は、電気接点の開離時のアークを、独自に開発した分光計により解析することにより、高速遮断特性を得るための条件を明らかにし、新しい構造の小形高速気中遮断器を開発することに成功した。本論文はこの成果を取り纏めたもので、全文7章よりなる。

第1章は緒論である。次いで第2章では、電気接点の開離時のアーク現象に関する従来の研究について述べている。ここで最も重要な研究課題は、接点間にアークが停滞する現象、すなわちアーク膠着現象の解明にあることを明らかにしている。

第3章では、アーク膠着現象に関して得られている従来の知見を、著者独自の実験により追跡してこれを確認し、銀とタングステン及びこれらの焼結合金等について、アーク膠着時間を測定した結果を整理している。

第4章では、アーク膠着現象を、独自に開発した、時間分解能と空間分解能をもつ分光計により詳細に分析した結果を述べている。ここで、アーク膠着時間が短い時には、空気中の窒素が強く発光すること、また、アークの半径方向の光スペクトル強度の計測から、アークの形状を円柱と仮定して、アークの温度分布を推定した結果、脱膠着直前にアーク温度は最も高くなり、またこのとき、アークは細く絞られていること、などの新しい知見を得ている。そしてこれらの知見を総合して、アークを速く遮断するためには、高速開離と磁界印加などの従来の手法に加えて、アーク周辺を冷却する手段が有効であるとの着想を得ている。

第5章では、前章で、脱膠着後の移動アーク柱の形状が円柱であるとした仮定に対する検証を行っている。すなわち、アーク光を、アークの移動方向と直角の方向から写真撮影し、移動中のアークの形状はほぼ円柱とみられることを確認している。

第6章では、第4章で得た着想に基いて、アーク熱によって水素を発生させる材料を用いてアーク周辺を冷却するという、新しい構造の気中遮断器を作製して実験した結果を述べ、この遮断器は従来よりも、小形であるとともに遮断性能も良いことを明らかにしている。これは実用上有用な成果である。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、気中遮断器の遮断時に発生するアークを、新たに開発した分光計により詳細に解析し、この結果から得た新しい着想のもとに、小形で高性能の気中遮断器を開発し得た成果を述べたもので、電気工学並びに安全工学の発展に資するところが少なくない。

よって本論文は、工学博士の学位論文として合格と認める。